土木学会第51回年次学術講演会（平成８年９月）

I-B 12　歩道橋のアクティブ振動制御のための制御器の設計とアクチュエータの試作

長崎大学大学院　学生員○山森　和博
長崎大学工学部　正　員　岡林　隆敏
オリエンタル建設（株）　正　員　角本　周

１．はじめに

実際の構造物の振動制御を実現するためには，制御力を発生させる駆動装置，すなわちアクチュエータとリアルタイムに信号処理をするための制御器が必要である．本研究の目的は，吊床版歩道橋の歩行者による振動を制御するための，振動制御システムを構成することにある．そこで，桁の鉛直曲げ振動を制御するためのアクチュエータを試作した．また，DSPを用いてリアルタイムの制御が可能な，制御器を設計した．ここでは，制御器を構成するためのハードウェアとソフトウェアに関する説明と，アクチュエータの動特性について述べた．さらに，この制御システムを，吊床版歩道橋に適用し，振動制御の有効性を確認した．

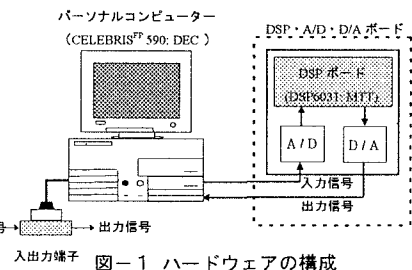
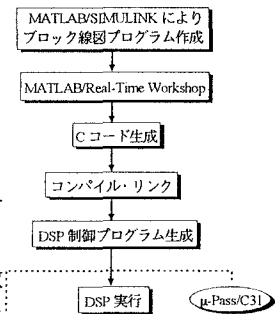
２．DSPを用いた振動制御のための制御器の設計

（１）ハードウェアの構成

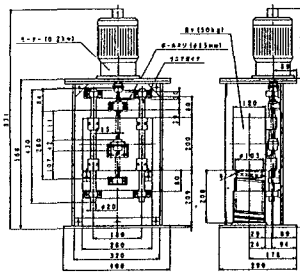
制御器の中枢となるパーソナルコンピューターには，DSPが組み込まれいる．図－１にハードウェアの構成を示す．DSPは，高速信号処理を目的として開発されたプロセッサである．本研究では，A/D変換，D/A変換機能を搭載したDSPボード（MTT社製）(1)を使用した．サンプリング周波数は1 KHz以上可能である．

図－１　ハードウェアの構成

（２）ソフトウェアの構成

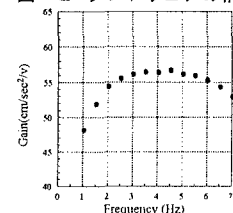
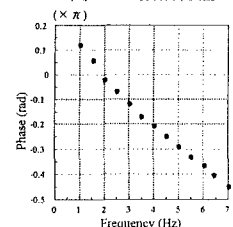
制御プログラムは，MATLABのオプションとして用意されているSIMULINKによりブロック線図プログラムとして構成する．さらに，Real-Time Workshopを利用して，このプログラムをC言語に変換する．次に，これをDSPにダウンロードする．DSPの実行は，μ-Pass/C31(2)により行う．μ-Pass/C31はDSP専用ソフトウェアである．これにより，制御プログラムの実行，任意の制御データの数値表示，さらに時系列でグラフィック表示を行うことが可能になる．図－２にソフトウェアの構成を示す．

図－２　ソフトウェアの構成

３．振動制御のためのアクチュエータの製作

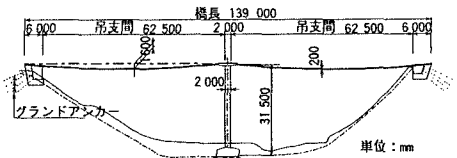
本研究で製作したアクチュエータの構造を図－３に示す．パーソナルコンピューターの指令信号をアクチュエータ上部に設置したモーターに伝達することにより，モーターが駆動する．モーターの駆動により，重錘が上下し，制御力が発生する構造形式となっている．諸元を表－１に示す．

図－３　アクチュエータの構造

表－１　アクチュエータの諸元

入力電圧	200 V
出　力	0.2 kw
重　錘	50 kg
ストローク	80 mm

このアクチュエータの加速度動特性を調べたものが，図－４と図－５である．振幅特性では，大きな出力加速度は得られていない．位相特性については，7.0(Hz)付近で約90度位相遅れが生じる．

図－４　振幅特性

図－５　位相特性

４．振動制御対象構造物

振動制御の有効性を確認するために，振動制御実験を平成７年12月に実施した．対象とした橋梁は，大分県院内町の香下ダム内に架けられている図－６に示すような歩道橋である．この橋梁は，橋長139.0m，吊支間長2@62.5mのPC吊床版橋である．橋梁の諸元を表－２に示す．

図－６　香下ダム吊橋一般図

表－２　橋梁の諸元

橋　名	香下吊床版橋
構造形式	２径間連続PC吊床版橋
橋　長	139.000　m
吊支間	2@62.500　m
基本サグ	1.600　m
有効幅員	1.500　m（標準部）

５．振動制御実験の概要

本実験では，単純速度フィードバック制御を用いた振動制御を行った．実験制御システムを図－７に示す．速度計（3/4L(L=62.5m)点）で検出された速度を直流増幅器に取り込む．出力信号がパーソナルコンピューター内でA/D変換され，DSPにより制御力の計算を行い，指令信号としてD/A変換される．その指令信号を制御盤に入力し，アクチュエータに送ることで，アクチュエータが制御力を発生する．制御力は，観測点の速度に比例した力として，フィードバックさせた．実験は次のような手順で行った．①発振器により２次振動の固有振動数(1.172Hz)で，3/4L点に設置したアクチュエータを定常加振する．②定常加振後，自由減衰を行う．③次に，同様な定常加振を行った後アクチュエータを加振器から制御器へ切り替え，速度フィードバックを行う．この時の減衰効果を制御のない場合と比較する．

図－７　実験制御システム図

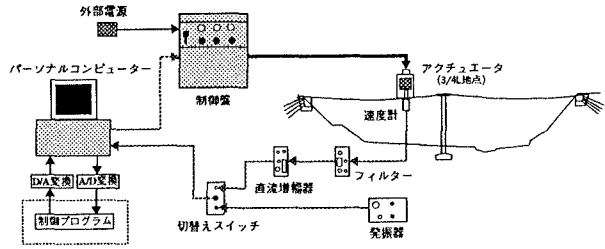
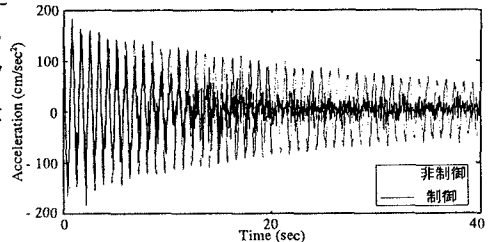
構造物の基準座標の方程式は次のようになる．

$$\ddot{\mathbf{q}}(t)+\mathbf{H}\dot{\mathbf{q}}(t)+\mathbf{\Omega}\mathbf{q}(t)=\mathbf{bf}(t)+\mathbf{du}(t) \qquad (1)$$

（１）式を状態空間表示すると，次式を得る．

$$\mathbf{x}(t)=\left[\mathbf{q}(t) \quad \dot{\mathbf{q}}(t)\right]^T \qquad (2)$$

$$\begin{cases}\dot{\mathbf{x}}(t)=\mathbf{Ax}(t)+\mathbf{Bf}(t)+\mathbf{Du}(t)\\ \mathbf{y}(t)=\mathbf{Cx}(t)\end{cases} \qquad (3)$$

制御力は$\mathbf{u}(t)=-\mathbf{Kx}(t)$で与えられる．最適ゲインベクトル$\mathbf{K}$は，一般に最適レギュレータ理論より決定される．

図－８　1/4L点における加速度応答

図－９　3/4L点における加速度応答

６．実験結果

図－８，図－９は，それぞれ1/4L点，3/4L点の加速度応答波形である．制御を行った場合，非制御と比べ減衰は明らかに大きくなっている．減衰定数は，それぞれ非制御で0.0042，1/4L点において制御を行った場合で0.0178となり，3/4L点においては，制御を行った場合で0.0197となった．制御力としては，最大22kg程度である．

７．まとめ

歩行者による歩道橋振動をアクティブ制御するための，制御システムを構成することができた．本システムにより，振動が低減できることが確認できた．しかし，実橋実験では，DSPを十分に機能させる制御が実現できなかった．今後，実橋実験において，改善を重ねる予定である．

【参考文献】（１）HERON WING/DSP6031ハードマニュアル，MTT（株）
（２）μ-Pass/C31取扱説明書，マイクロシグナル（株）